

# 酒泉盆地营尔凹陷

## 有效烃源岩的确认及其展布特征

高岗<sup>1</sup>, 王银会<sup>2</sup>, 柳广弟<sup>1</sup>, 陈建军<sup>3</sup>, 周一博<sup>1</sup>, 周在华<sup>3</sup>, 杨智明<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 恒泰艾普石油天然气技术服务股份有限公司, 北京 100084; 3. 中国石油玉门油田公司勘探开发研究院, 甘肃酒泉 735019)

**摘要:**基于烃源岩生排烃基本原理,利用 TOC 含量与热解  $S_1$ , 氯仿沥青“*A*”含量的关系确定了营尔凹陷下白垩统主要层段有效烃源岩的有机碳含量下限值,其中下沟组有效烃源岩的 TOC 含量下限值为 0.8%,赤金堡组为 0.6%。与单井的测井 TOC 含量预测成果相结合,识别并统计了单井有效烃源岩厚度,最终综合层序地层学和沉积相研究成果确定了主要层段有效烃源岩的展布特征。各层段的有效烃源岩均比较发育,其中以赤金堡组厚度最大,其次为下沟组上段。下沟组下段厚度总体偏低,但北部次凹有效源岩厚度最大亦可达 250 m,南部次凹最大为 200 m。

**关键词:**有机碳含量下限值;有效烃源岩;下白垩统;营尔凹陷;酒泉盆地

**中图分类号:**TE122.1<sup>+</sup>1

**文献标识码:**A

## Confirmation and distribution features of effective source rocks in Yinger Sag, Jiuquan Basin

Gao Gang<sup>1</sup>, Wang Yinwei<sup>2</sup>, Liu Guangdi<sup>1</sup>, Chen Jianjun<sup>3</sup>, Zhou Yibo<sup>1</sup>, Zhou Zaihua<sup>3</sup>, Yang Zhiming<sup>3</sup>

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China;

2. LandOcean Energy Services Co, Ltd, Beijing 100084, China;

3. Research Institute of Exploration and Development, Yumen Oilfield Company, CNPC, Jiuquan, Gansu 735019, China)

**Abstract:** Based on the basic theory of hydrocarbon generation and expulsion of source rock, TOC content, pyrolysis parameter  $S_1$  and chloroform bitumen “*A*” content have been correlated to confirm the lowest limit of TOC content of effective source rocks from the Lower Cretaceous in the Yinger Sag. The lowest limit of TOC content of effective source rocks from the Xiagou Formation is 0.8%, while that from the Chijinbu Formation is 0.6%. Combining with the prediction from TOC content by single well logging, the thickness of effective source rock in single well has been calculated. The distribution of effective source rock in main layers has been confirmed combining the studies of sequence stratigraphy and sedimentology. Effective source rocks are well-developed in each layer, among which those in the Chijinbu Formation have the biggest thickness, and the Upper Xiagou Formation the second. In the Lower Xiagou Formation, effective source rocks are thin; however, they may increase to 250 m thick in the northern subsag, and 200 m thick in the southern subsag.

**Key words:** lowest limit of TOC content; effective source rock; lower Cretaceous; Yinger Sag; Jiuquan Basin

营尔凹陷所在的酒东坳陷位于酒泉盆地内部东南侧,面积超过 5 000 km<sup>2</sup>[1-2]。营尔凹陷位于酒东坳陷的中南部,呈北东向展布,面积 1 920 km<sup>2</sup>(图 1),是酒泉盆地中主要的沉积凹陷,也是酒泉盆地除青西凹陷外主要的油气发现区及产油气区[3-5]。营尔凹陷经历了早白垩世拉张断陷、晚白垩世—古新世挤压隆升和始新世—第四纪挤压前

陆 3 个构造演化阶段[6-7]。凹陷总体呈一东断西超的箕状断陷(图 1),以黑梁断层为界,东部自南向北依次发育南部次凹、长沙岭构造、北部次凹和营北断阶带 4 个次级构造带;以西为西部缓坡带[2,4]。凹陷断裂特征明显,主要发育北东向和北北东向正断层(图 1)。沉积岩最大厚度超过 8 000 m,地层由下至上依次为下白垩统赤金堡组( $K_1c$ )、下

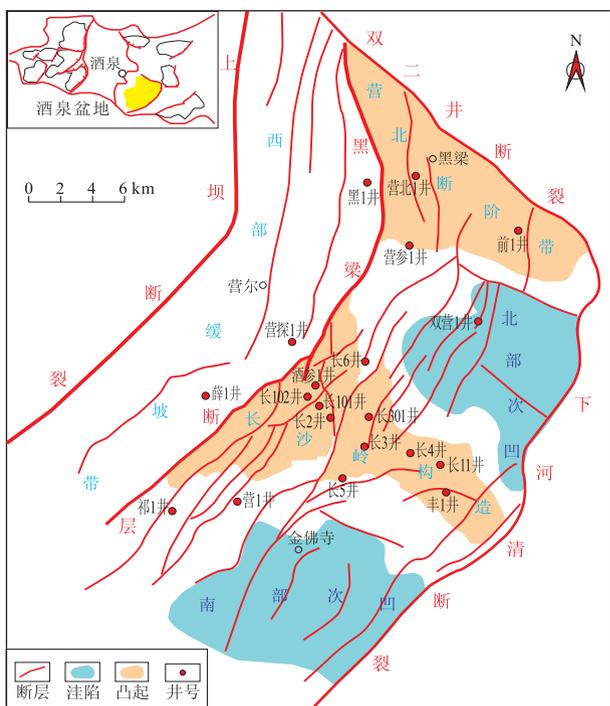


图1 酒泉盆地营尔凹陷区域地质概况

Fig. 1 Regional geological map of Yinger Sag, Jiuquan Basin

沟组(由下至上分为  $K_1g^1$ 、 $K_1g^2$ 、 $K_1g^3$ )、中沟组( $K_1z$ )、上白垩统、古近系、新近系和第四系,主要为河湖沉积体系<sup>[7]</sup>。其中暗色泥岩主要发育于下沟组和赤金堡组,已发现了与之有关的油气,但暗色泥岩不都是有效的,有效烃源岩的分布与下一步的油气勘探关系密切<sup>[8-9]</sup>。本文将主要从烃源岩生排烃基本原理入手,利用有机碳含量与已生烃量的关系进行有效烃源岩的研究。

## 1 评价标准确定的基本原理

有效烃源岩是指能够生成并且聚集形成工业性油气藏的烃源岩<sup>[10-12]</sup>。通过已发现油气藏的油源对比已经确认了下沟组、赤金堡组烃源岩对已有的油气藏均有贡献,明确了其有效性,但这只是定性确认。下沟组与赤金堡组发育多层暗色泥岩,但这些泥岩的单层厚度、地质分布、有机地化特征等均有一定差异,不可能全都为有效烃源岩。但到底什么样的暗色泥岩能够作为有效烃源岩,单从地质特征上难以确认,已有的有关有效烃源岩的评价标准普遍都缺乏理论依据<sup>[13-15]</sup>。为了明确有效烃源岩的有机质丰度下限,必须充分考虑烃源岩的生排烃机理,从有机地化特征入手进行分析。

一般情况下,烃源岩的有机质主要由固态干酪根和可溶有机质组成,烃源岩中残留的可溶有机质即是烃源岩已经生成的烃。如果未发生过排烃,则

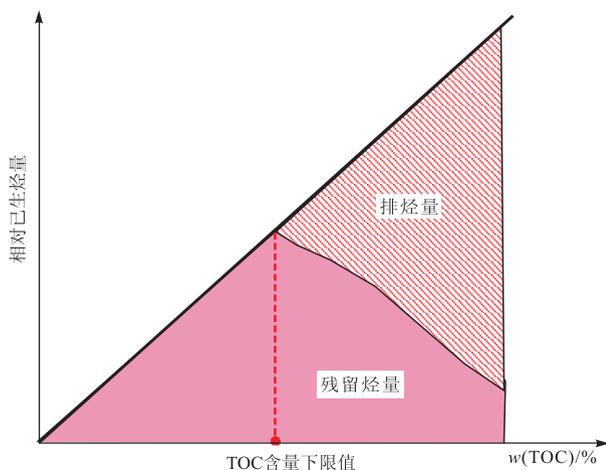


图2 有效烃源岩排烃有机碳含量下限判别模式

Fig. 2 Identification model of lowest limit of TOC content of effective source rock

烃源岩中的残留可溶有机质即为其生成的烃,相当于烃源岩的已生烃量。但如果烃源岩发生过排烃,则其中的残留可溶有机质即为排烃后残留的烃,已生成的烃量由残留烃量和排出的烃量 2 部分组成<sup>[16]</sup>。一般所测试烃源岩中的可溶有机质主要是残留烃。可见,对于同一套烃源岩来说,如果烃源岩有机质类型、成熟度接近,并且未发生过排烃,则有机碳含量与已生烃量之间应该具有较好的线性相关关系(图 2)。

烃源岩生成的烃要排出烃源岩的基本条件应该是必须满足饱和吸附量<sup>[17-18]</sup>。对于同一套各种特征接近的烃源岩来说,饱和吸附烃量的变化应该在一个小范围内。而一定烃源岩的已生烃量与有机碳含量具有正相关关系,随有机碳含量增加,已生烃量也增加,但有机碳含量增加到一定值后,对应的已生烃量将满足饱和吸附,多余的烃将排出烃源岩,这样在有机碳含量与已生烃量关系图(图 2)中,残留烃量的变化线将偏离正常的相关趋势线,随有机碳含量增加,高于饱和吸附的烃量会不断增加,导致残留烃量不断偏离正常趋势线,残留烃含量变化拐点对应的有机碳含量即相当于有效烃源岩的有机碳含量下限值(图 2)。

## 2 有效烃源岩评价标准的确定

实际上烃源岩目前所测定的均为残留烃量<sup>[19]</sup>。在各种有机地化分析方法中,热解(Rock-Eval) $S_1$ 一般代表烃源岩中已经生成的残留烃量,在未发生排烃的烃源岩中, $S_1$ 可以近似代表已生烃量;通过氯仿抽提得到的氯仿沥青“A”含量是直接代表烃源岩中残留烃的参数,在未发生排烃时也

可以代表已生烃量。

基于上述分析,研究区泥岩有机碳含量与热解  $S_1$ 、氯仿沥青“ $A$ ”含量的关系显示,二者具有大体的正相关关系(图3)。但随着有机碳含量增大,热解  $S_1$  与氯仿沥青“ $A$ ”含量也增大;当有机碳含量增加到一定值后,大量的数据点偏离了相关趋势,偏离的部分即相当于排出的烃。有机碳含量与  $S_1/w(\text{TOC})$ 、氯仿沥青“ $A$ ”/ $w(\text{TOC})$  的关系更清楚地展示了这

种特征。 $S_1/w(\text{TOC})$  与氯仿沥青“ $A$ ”/ $w(\text{TOC})$  表示单位有机碳量对应的生烃量,是相对值,在相同情况下,其值越高,表示排烃越少。随着有机碳含量增加, $S_1/w(\text{TOC})$  与氯仿沥青“ $A$ ”/ $w(\text{TOC})$  先增后降,降低部分就预示了烃源岩中排出烃类了。随着有机碳含量增加, $S_1/w(\text{TOC})$  与氯仿沥青“ $A$ ”/ $w(\text{TOC})$  由增加而开始降低时对应的有机碳含量值,即大体相当于排烃泥质烃源岩的有机碳含量下限值。据

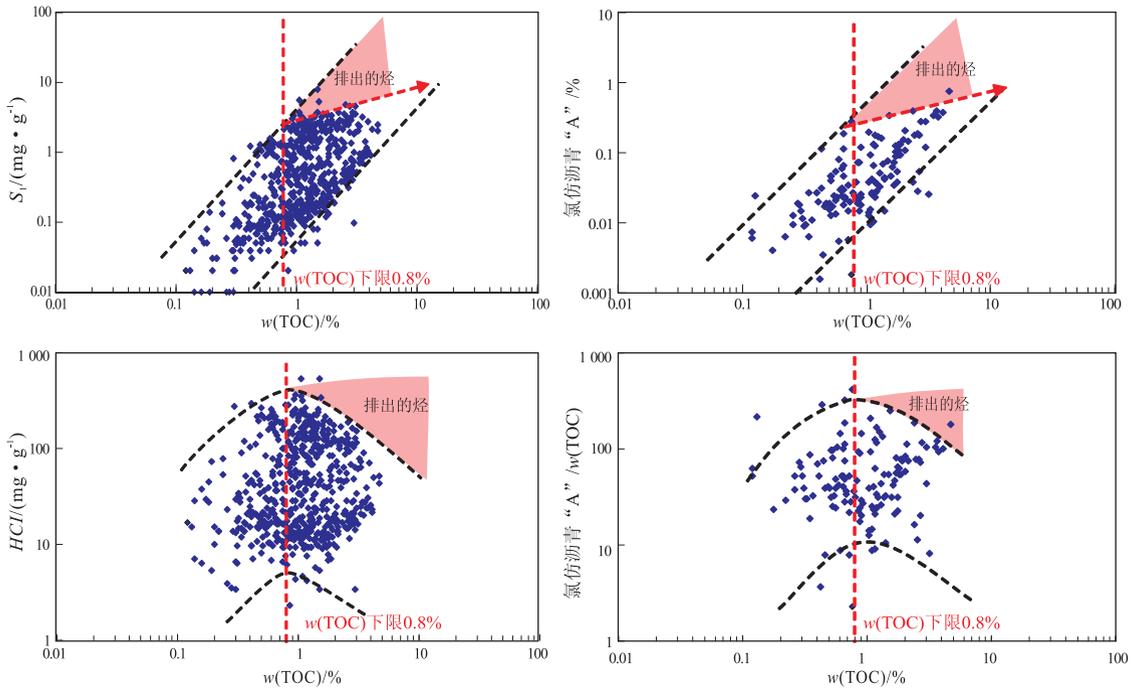


图3 酒泉盆地营尔凹陷下沟组泥岩 TOC 含量与热解  $S_1$ 、氯仿沥青“ $A$ ”的关系

Fig.3 TOC content vs. pyrolysis  $S_1$  and chloroform bitumen “ $A$ ” content of mudstones from  $K_{1g}$ , Yinger Sag, Jiuquan Basin

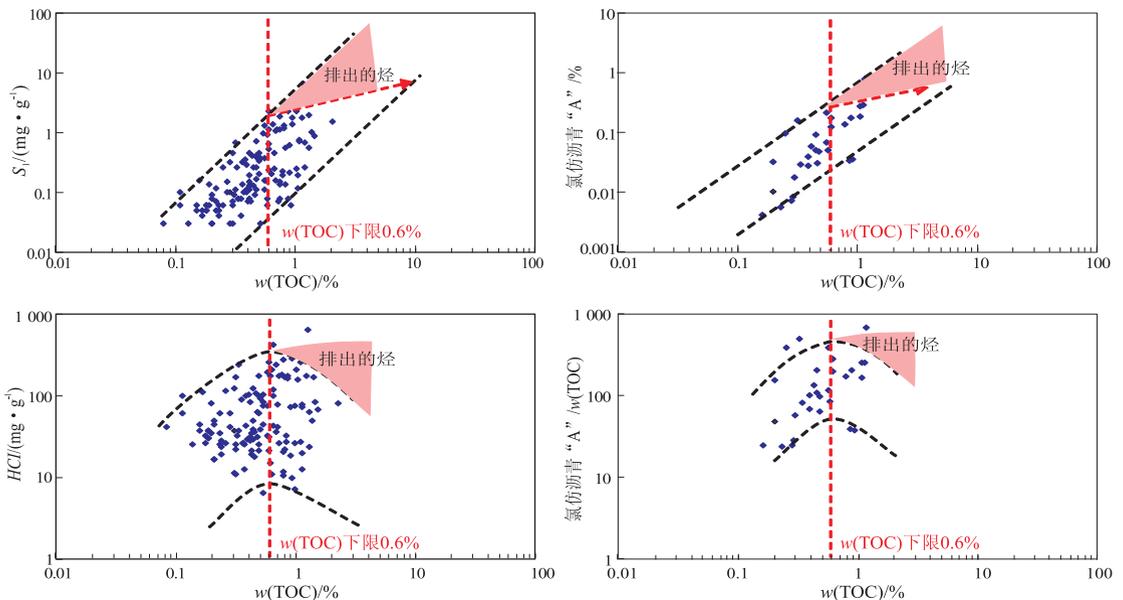


图4 酒泉盆地营尔凹陷赤金堡组泥岩 TOC 含量与热解  $S_1$ 、氯仿沥青“ $A$ ”的关系

Fig.4 TOC content vs. pyrolysis  $S_1$  and chloroform bitumen “ $A$ ” content of mudstones from  $K_{1c}$ , Yinger Sag, Jiuquan Basin

此确定的营尔凹陷下沟组泥岩有机碳含量下限值为0.8%左右(图3)。当有机碳含量超过该值后,烃源岩生成的烃才能排出,低于该值虽然可能有烃排出,但难以形成油气藏,不是有效烃源岩。同理,赤金堡组泥岩的有机碳含量下限值为0.6%(图4)。

### 3 有效烃源岩厚度的确定

营尔凹陷已钻各类探井几十口,同时还进行了层序地层学和沉积相研究,不同钻井对不同的沉积相都有所钻遇。主要通过单井统计不同层位、不同沉积相、TOC含量大于其下限值的暗色泥岩厚度

及其在不同沉积相中的暗色泥地比,并与地层厚度和沉积相结合,确定达到下限值要求的有效烃源岩厚度展布。在进行具体确定时,实测的岩石 TOC 含量数据往往有限,分布离散,难以进行实际单井的有效烃源岩厚度界定。所以,选择应用效果较好的声波时差与电阻率测井资料相结合的  $\Delta\log R$  法<sup>[20]</sup> 对不同单井的泥岩 TOC 含量进行了预测(图5),这样就保证了 TOC 含量在垂向上较好的连续性。依据上述方法就可以统计不同钻井、不同层位及不同沉积相的有效烃源岩厚度。

下沟组上段有效源岩在剖面上自西向东有效

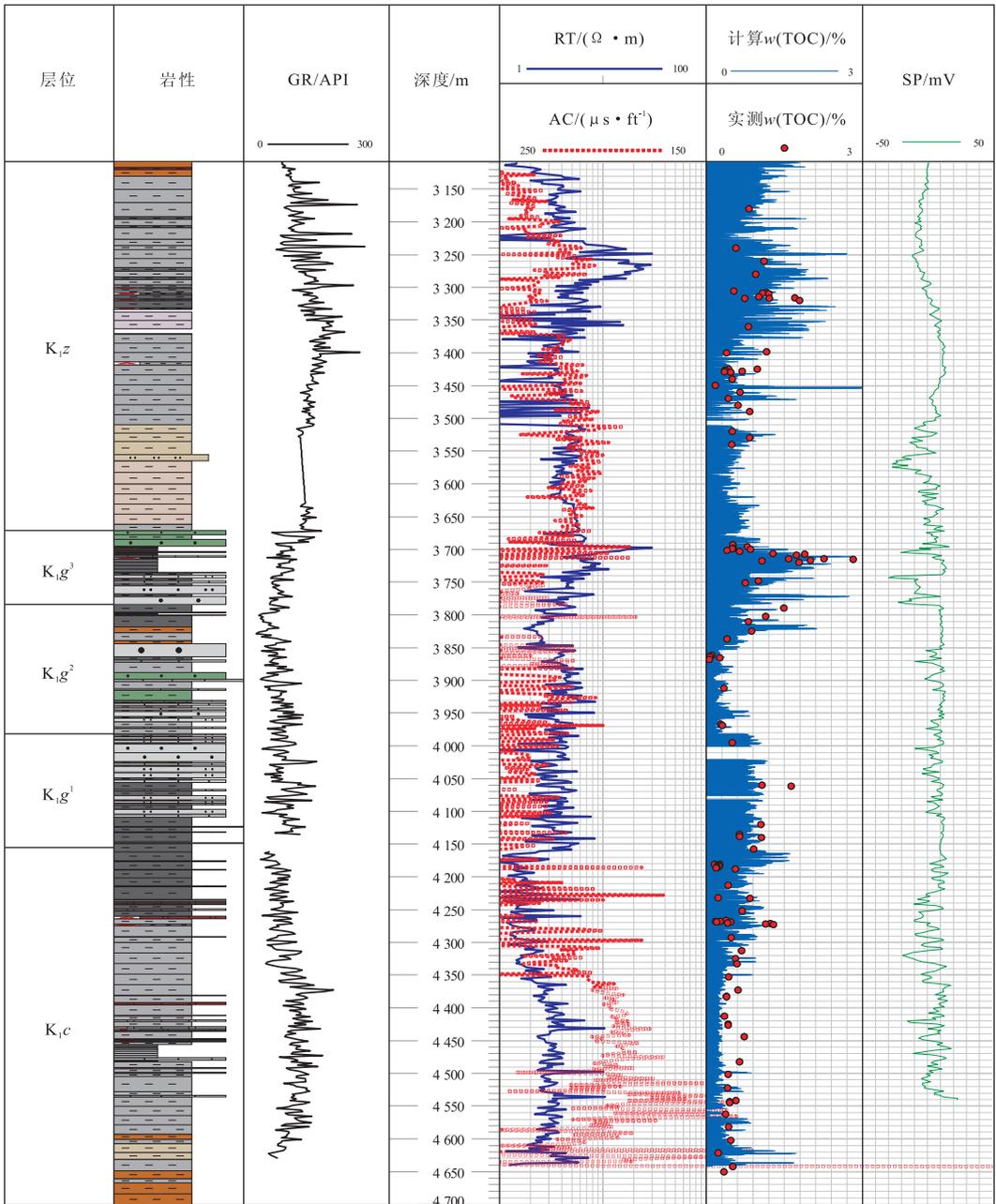


图5 酒泉盆地酒参1井测井预测全井段 TOC 含量结果

Fig. 5 TOC content predicted by logging, well Jiucan 1, Jiuquan Basin

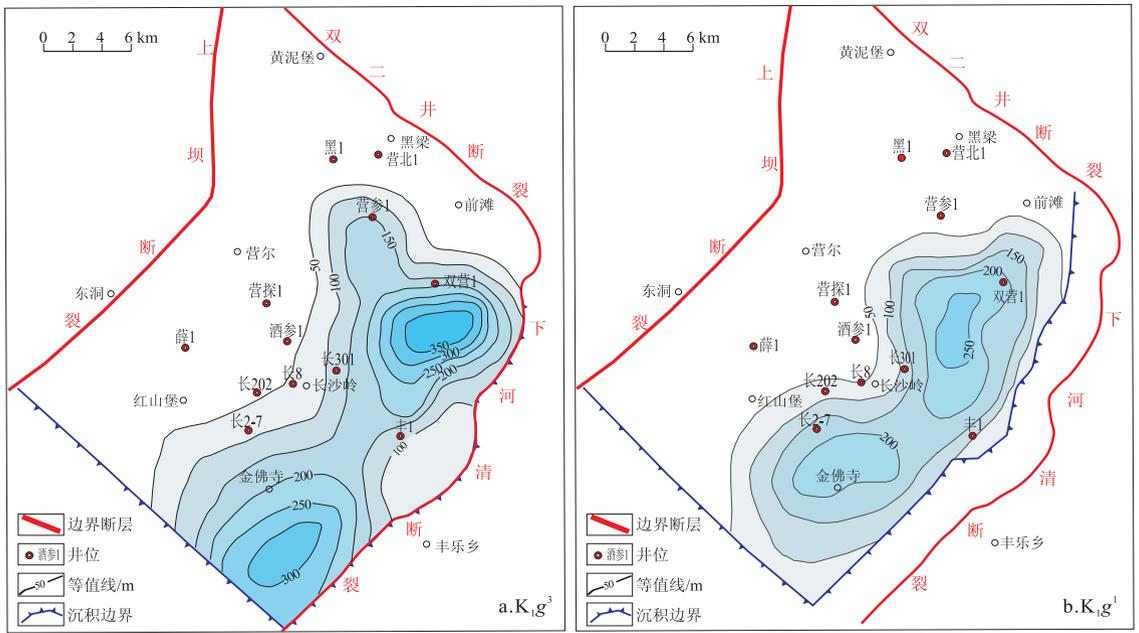


图6 酒泉盆地营尔凹陷  $K_1g^3$  与  $K_1g^1$  有效烃源岩等厚图

Fig. 6 Isopach map of  $K_1g^3$  and  $K_1g^1$  effective source rocks in Yinger Sag, Jiuquan Basin

烃源岩单层厚度和累计厚度增大,连续性变好;在平面上有南、北2个沉积中心,北部次凹有效源岩厚度最大可达350 m,南部次凹最大为300 m(图6a)。下沟组下段有效源岩在剖面上单层厚度不大,整体为砂泥岩互层,单层厚度分布在5~50 m;在平面上也有南北2个沉积中心,北部次凹有效源岩厚度最大可达250 m,南部次凹最大为200 m(图6b)。赤金堡组由于埋深大,钻穿的井少,但从钻遇的井段来看,有效烃源岩厚度较大,有效源岩连续性较好;平面上,北部次凹有效源岩厚度最大可达500 m,南部次凹最大为450 m。

### 4 结论与认识

通过有机碳含量与热解  $S_1$ 、氯仿沥青“A”含量关系确定有机碳含量下限值的方法充分考虑了烃源岩的生烃和排烃基本原理,是一种简单而实用的方法。营尔凹陷下白垩统有效烃源岩主要分布在下沟组与赤金堡组,利用该方法确定的下沟组和赤金堡组有效烃源岩有机碳含量下限值分别为0.8%和0.6%。与测井 TOC 含量预测方法结合很好地实现了单井有效烃源岩的识别和厚度统计。与层序地层和沉积相研究成果相结合确定的有效烃源岩展布特征,基本反映了凹陷中有效烃源岩供烃区的分布特征。

#### 参考文献:

[1] 陈建平,黄第藩,霍永录,等. 酒东盆地营尔凹陷油气生成与

运移聚集[J]. 石油勘探与开发,1995,22(6):1-7.  
 [2] 潘良云,谢结来,李明杰,等. 酒泉盆地白垩纪—新生代区域构造演化与油气勘探[J]. 石油与天然气地质,2006,27(1):62-69.  
 [3] 娄占伟,潘良云,张宏伟,等. 甘肃酒泉盆地营尔凹陷层序地层特征与岩性勘探目标[J]. 现代地质,2005,19(4):563-569.  
 [4] 韩永科,刘永昌,岳智忠,等. 酒泉盆地营尔凹陷长沙岭构造带油气勘探前景[J]. 新疆石油地质,2003,24(6):490-493.  
 [5] 赵鹏,陈世加,李丽萍,等. 酒东盆地营尔凹陷下白垩统油源对比[J]. 天然气地球科学,2006,17(2):192-195.  
 [6] 任战利,刘池阳,张小会,等. 酒东盆地热演化史与油气关系研究[J]. 沉积学报,2000,18(4):619-623.  
 [7] 李文厚,周立发,赵文智,等. 酒东盆地营尔凹陷的扇三角洲[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):300-304.  
 [8] 韩永科,张莉,韩小松,等. 营尔凹陷原油族群划分及勘探意义[J]. 新疆石油地质,2007,28(2):146-149.  
 [9] 马立元,程克明,熊英,等. 营尔凹陷原油生物标志物特征及油源对比[J]. 新疆石油地质,2006,27(1):32-34.  
 [10] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率,2001,8(1):1-4.  
 [11] 张彩明,杜学斌. 陆相湖盆有效烃源岩识别及其石油地质意义[J]. 青海石油,2008,26(2):5-10.  
 [12] 刘若冰,田景春,魏志宏,等. 川东南地区震旦系—志留系下组合有效烃源岩综合研究[J]. 天然气地球科学,2006,17(6):824-828.  
 [13] Peters K E, Cassa M R. Applied source rock geochemistry[M]// Magoon L B, Dow W G, eds. The petroleum system: from source to trap, AAPG memoir 60. Tulsa: AAPG, 1994:93-117.  
 [14] 饶丹,章平澜,邱蕴玉. 有效烃源岩下限指标初探[J]. 石油实验地质,2003,25(S):378-381.  
 [15] 李志明,关德范,徐旭辉,等. 有效泥质油源岩有机碳丰度评价标准研究:以东营凹陷为例[J]. 石油实验地质,2009,31(4):379-384.

则以盐下碳酸盐岩储层发育为主。盐上砂体发育程度是造成2个盆地盐上油气富集程度巨大差别的主要原因。南帕拉伊巴河为坎波斯盆地带来相对充足的物源供应,盐上浊积砂体十分发育(图6);而桑托斯盆地周围没有大型河流,盐上砂体呈零星分布(图6),因此坎波斯盆地盐上油气更为富集。桑托斯盆地的外部高地发育大量的基底隆起,形成了远离物源区的浅水沉积环境,有利于生物灰岩储层的发育;坎波斯盆地外部高地窄、盐下地层厚度小且缺少大型的基底隆起,盐下储层发育条件差。

这些差异造成了2个盆地油气成藏条件的差异,影响油气资源分布。

## 5 结论

1) 桑托斯盆地和坎波斯盆地经历了裂谷、过渡、被动大陆边缘3个构造阶段,形成了盐下裂谷期陆相层序、过渡期盐岩层序、盐上被动大陆边缘期海相层序。

2) 桑托斯盆地和坎波斯盆地油气成藏条件优越,烃源岩、储层、盖层及保存条件良好,盐下及盐上圈闭发育,各种成藏要素配置关系良好。

3) 盐下油气成藏主要受控于基底隆起和盐岩分布,油气成藏有利区主要位于盐下中部低凸带和外部高地,尤以桑托斯盆地外部高地最为有利。盐上成藏组合油气成藏主要受控于盐窗和储层发育情况,有利区位于中部低凸带,以坎波斯盆地中部低凸带最为有利。

4) 桑托斯盆地和坎波斯盆地具有相同的区域构造演化历史,发育相似的地层及岩性序列,生储盖组合及圈闭类型基本相同。但由于盆地构造格

架不同,导致盐岩分布、盐下储层发育程度的差异,加之盐上储层分布的不同,造成2个盆地油气分布特征的巨大差异。

## 参考文献:

- [1] Norvick M S, Schaller H. A three-phase Early Cretaceous rift history of the South Atlantic salt basins and its influence on lacustrine source facies distribution [C]//ABGP / AAPG International Conference and Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil, 1998.
- [2] 熊利平,王骏,殷进垠,等. 西非构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):641-646.
- [3] Modica C J, Brush E R. Postrift sequence stratigraphy, paleogeography, and fill history of the deep-water Santos Basin, offshore southeast Brazil [J]. AAPG Bulletin,2004,88:923-945.
- [4] Meisling K E, Cobbold P R, Mount V S. Segmentation of an Obliquely Rifted Margin, Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil [J]. AAPG Bulletin,2001,85:1903-1924.
- [5] Karner G D. Rifts of the Campos and Santos Basins, Southeast Brazil: Distribution and Timing [M]//Mello M R, Katz B J. Petroleum Systems of South Atlantic Margins: AAPG Memoir 73. Tulsa: AAPG,2000: 156-158.
- [6] Azambuja Filho N C. The Oligo-Miocene Turbidites and Associated Fácies of the Campos Basin, offshore Brazil [D]. London: Imperial College-London University,1980.
- [7] Gibbons M J, Williams A K, Piggott N, et al. Petroleum geochemistry of the Southern Santos Basin, offshore Brazil [J]. Environmental Geosciences,2009,16:211-234.
- [8] Cobbold P R, Meisling K E, Mount V S. Reactivation of an Obliquely Rifted Margin, Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil [J]. AAPG Bulletin,2001,85:1925-1944.
- [9] Guardado L R, Gamboa L A P, Lucchesi C F. Petroleum Geology of the Campos Basin, Brazil: A Model for a Producing Atlantic Type Basin [M]// Edwards J D, Santogrossi P A. Divergent/Passive Margins Basins: AAPG Memoir 48. Tulsa: AAPG, 1990:3-89.
- [10] 朱毅秀,高兴,杨程宇,等. 巴西坎波斯盆地油气地质特征[J]. 海相油气地质,2011,16(3):22-29.

(编辑 徐文明)

(上接第418页)

- [16] 高岗,柳广弟,付金华,等. 确定有效烃源岩有机质丰度下限的一种新方法[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2012,27(2):22-27.
- [17] 霍秋立,曾花森,张晓畅,等. 松辽盆地北部青山口组一段有效烃源岩评价图版的建立及意义[J]. 石油学报,2012,33(3):379-384.

- [18] 祝厚勤,刘平兰,庞雄奇,等. 生烃潜力法研究烃源岩排烃特征的原理及应用[J]. 中国石油勘探,2008,13(3):5-10.
- [19] 陈中红,查明. 烃源岩排烃作用研究现状及展望[J]. 地球科学进展,2005,20(4):459-466.
- [20] 王贵文,朱振宇,朱广宇. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. 石油勘探与开发,2002,29(4):50-52.

(编辑 黄娟)